

文章编号: 0253-2697(2001)02-0083-04

人工智能钻井实时专家控制系统研究

王以法

(石油大学石油工程系 山东东营 257061)

摘要: 随着石油工业的发展和科学技术的进步,钻井技术将进入人工智能钻井的新阶段。文中介绍了人工智能及其两个重要分支——专家系统、智能控制在钻井工程中的应用,给出了人工智能钻井的概念和内容。结合石油钻井工程的实际情况,提出了一种新型“实时专家智能控制系统”(RTEICS—Real Time Expert Intelligence Control System),它综合了传统专家系统及智能控制的优点于一身,构成了一个完整的人工智能钻井系统。讨论了 RTEICS 的原理和构成,专家系统和控制系统的接口方式,以及需要解决的实时性、稳定性、可靠性、自学习性等问题。并展望了 21 世纪人工智能钻井的美好前景。

关键词: 人工智能; 专家系统; 智能控制; 智能钻井; 实时控制; 自动钻井设备

中图分类号: TE249 **文献标识码:** A

1 前 言

年前,世界石油市场长期处于不太景气的状态,石油价格低而不稳,严重影响了石油钻井业的发展,一方面是油价下跌,一方面是钻井费用在整个油气田开发成本中不断增加,导致各国都纷纷削减钻井工作量,这就对钻井工作者提出了一个严峻的问题:要让石油钻井工业生存和发展下去,唯一的途径就是提高钻井效率和降低钻井成本。同时根据世界油气资源的现状及对将来发展的预测,石油钻井工业将面临更复杂的地质条件和更恶劣的自然环境(沙漠、深海等),这就要求石油钻井工业大大提高高科技含量,发展大斜度定向井、大位移水平井、丛式井、多底井、径向井等各种新的钻井技术,以满足在各种复杂的地质条件和恶劣环境下开发油气田的需要,并达到最高的采收率、最低的钻井成本、最好的经济效益的目的。另外,现在不论新老油田都面临提高采收率的问题,采用精确定位的定向井轨迹控制技术去开发油气藏边角,是提高剩余采收率的重要手段(如老井侧钻)。要解决以上几个方面问题,都要求石油钻井技术有一个革命性的飞跃,随着石油钻井科学的发展和相关高科技的进步,一个新的钻井概念出现了——人工智能钻井。展望未来,21 世纪的石油钻井技术将是人工智能钻井技术,既集地质、测井、钻井、油藏、计算机、自动控制、机器人技术等于一体的全自动钻井系统,它可根据井下地质情况和油藏位置自动调整井眼的设计轨迹并自动寻找和钻进到最佳的储层位置以获得最大产能。

2 人工智能简介

人工智能(AI—Artificial Intelligence)是一门新兴的边缘科学。自 50 年代诞生以来,随着计算机科学技术的飞速发展,AI 在理论上有了很大进步,在实践应用上更是成绩显著,正在逐步渗入自然科学和社会科学的各个领域,引起越来越多人的重视。国外发达国家一直高度重视人工智能的研究,美、欧、日各国的高科技发展计划中的重要内容之一,即是人工智能及相关技术研究。我国的“863”高科技计划以及后续的跨世纪高科技计划也将人工智能及 AI 计算机的研究作为重要课题。

人工智能科学的研究和发展是与计算机技术分不开的,它以计算机为研究工具和以物理硬件为基础。当前主要研究怎样使计算机具有人的基本智能,即使计算机初步具有人的感知观察能力、记忆能力、逻辑思维能力

基金项目: 国家“九五”重点科技攻关项目“侧钻水平井钻井采油配套技术研究”(95-108-02-04)中的部分内容。

作者简介: 王以法,男,1953 年 6 月生。1988 年获石油大学硕士学位。现为石油大学(华东)石油工程系副教授。

(分析推理能力)、学习能力、语言表达能力等等,并以此来模仿人的部分脑力活动。使人类在经历了体力劳动自动化后,又将经历一次脑力劳动自动化,让人们将智慧都用在知识与技术创新工程中,为社会创造更多的财富。

人工智能涉及自然科学和社会科学的各个领域,是许多相关技术的总称。在此仅提及与石油工业关系密切的,如专家系统、机器学习、人工神经网络、模式识别、智能自动控制以及机器人学等等。而当前能应用于钻井行业中的主要是人工智能的两个较为实用的重要分支:专家系统 ES 和智能控制 IC。前者是解决如何获取与表达专家知识,外部信息经它加工处理后得到可供人们参考的明确建议^[1],目前在石油工业各领域中不乏成功的例子;后者是在经典自动控制、现代自动控制理论上发展起来的带有人工智能性质的自动控制,目前应用较多、较成熟的是 FLC(Fuzzy Logic Control)模糊逻辑控制等。

3 RTEICS 原理及构成

过去钻井业的主要目的就是按照地质勘探部门提供的资料和要求,安全优质高效快速低成本地完成钻井任务,建立起一个永久性的通道以利于油气的开采。它只是石油勘探开发中一个相对独立的环节,但随着 90 年代石油工业的发展及各种高新技术的出现,对钻井业提出了更高的要求,伴随着人工智能技术被引进到钻井行业就产生一个全新的概念:人工智能钻井。即钻井作业不单单是完成单纯的打井,而要运用最新最先进的人工智能钻井技术与装备,为找到油藏多拿产能服务,这就是广义的人工智能钻井(狭义的人工智能钻井是指钻井自动化或称全自动化钻井作业)。它几乎包括石油科学的整个体系,即石油地质、物探、测井、钻井、采油、油藏工程以及机械、自动化、计算机等等,各专业在线地联合起来(过去是离线的各个领域相对独立的非连续过程),组成一个有机的整体协同工作。其主要过程为:由地质和物探部门提出地质条件和油藏的物理特性描述,组成特定的人工智能钻井专家系统,在先进的钻井测控技术支持下,利用当前较为成熟和正在发展的 5W(MWD, LWD, SWD, PWD, FEWD)作为手段,结合导向钻井及井下闭环控制技术,在钻进过程中实时地随钻随测控(随钻测量各种参数,随钻测井,随钻地震),及时地把井眼周围及钻头前方的各种地质、地层、环境信息以及钻进状态采集进井下计算机,由井下强大的人工智能钻井计算机系统,根据当时所能得到的井下最新数据进行智能判断,结合事先已知的地质勘探资料,从而发现目标油气藏,精确确定其位置、大小、形态、厚度及走向,以获得最大产能为目标函数,优化各种工艺参数,自动钻进寻找最佳轨迹穿过油气层,完成钻进任务。并给出初步的最佳采油方式和油藏描述结果,以及实际的井眼轨迹和各段井眼状态。同时钻进时就可以直接取得最接近实际情况的第一手资料,这在过去是根本不可能实现的。

以上过程的每一个环节都需要人工智能的参与和控制。必须指出,虽然人工智能经过几十年的发展有了很大进步,但传统的人工智能方法大多是用于模拟人的某些行为、证明数学定理、以及博弈等静态环境下的一些问题的。将这些方法直接用于工业实时控制中的动态智能控制问题时,就遇到一些难于克服的问题,如系统的实时性,知识表达的困难性,系统的脆弱性、灵活性问题等等,尤其在石油钻井工程中,钻进过程是一个非常复杂的不确定过程,不但钻进本身所产生的和地层环境所提供的可采集信息往往是非精确的^[2],非确定的,近似定性的非数值型模糊数据,而且还要根据这些模糊信息,实时快速地进行钻进控制。在这种情况下,传统的人工智能往往是无能为力的,它不能给实时智能控制提供一个成熟的现成解决办法。有鉴于此,本文结合石油钻井工程的实际情况,提出了一种新型“实时专家智能控制系统”RTEICS,它综合了传统专家系统及智能控制的优点于一身,构成了一个完整的人工智能钻井系统(见图 1)。

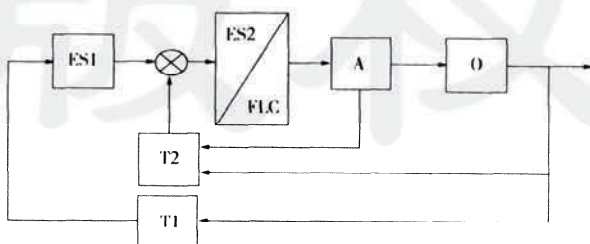


图 1 实时专家智能控制系统 RTEICS 原理框图

Fig. 1 The block diagram of Real-Time Expert Intelligence Control System

智能往往是无能为力的,它不能给实时智能控制提供一个成熟的现成解决办法。有鉴于此,本文结合石油钻井工程的实际情况,提出了一种新型“实时专家智能控制系统”RTEICS,它综合了传统专家系统及智能控制的优点于一身,构成了一个完整的人工智能钻井系统(见图 1)。

它由专家系统 ES1、ES2,模糊逻辑控制器 FLC,传感系统 T1、T2,执行机构 A 及控制对象和环境 O 几部分组成。ES1 是一个实时专家系统,它的输入是各种传感器信息及人工指令,它是用来发现油气层并修正预定钻

进轨迹的,主要由知识库和推理机组成。由于石油勘探开发涉及自然科学和石油工业的诸多方面,让一个人对于地质、物探、钻井、油藏工程等开发油田的每个环节都精通,在各方面都是专家是不可能的,但是可以集中这些行业的最优秀专家来开发构造这个专家系统,把他们的宝贵知识和经验升华到理性阶段,用于人工智能钻井方面,而这在以前是做不到的。

ES2 和 FLC 是一种有机的结合,它接受 ES1 的输出作为输入,对实际控制对象输出控制命令。由于一般的 Fuzzy 控制中没有自记忆自学习的功能,而目前的专家系统在解决实际问题时,无论结果是否令人满意一般不予保留,即它不能在对问题的解决中增加自己的知识,下一次解决同类甚至是同样问题时,它都要从头开始,一步步按照程序从头进行到底,这对于离线的非连续过程来讲也许并不是严重的缺点,但对于井下实时控制来讲,也许就是致命的要害问题(时间不允许),所以对 ES2 来讲就应有简单的自学习功能,它不但集中了控制领域专家的控制策略和目标,而且对上一次成功的控制策略加以整理记忆,当这一次控制要求和给定条件与上一次相似时,马上提出来供输出参考,节省实时寻优时间,提高控制命中率。

将专家系统和控制系统结合起来,不外有两种方式。

3.1 外部方式或称接口方式

在此方式下专家系统和控制系统是相对独立的两个部分(软硬件都可独立),专家系统放在一台计算机中,输出通过接口部分与控制系统的另一台计算机连接,这样设计、调试都可分开进行互不影响,ES1 既是采用此种方式和控制系统结合的。

3.2 内部方式或称嵌入方式

在此方式下专家系统和控制系统合为一体,成为“专家控制系统”ECS(Expert Control System),专家系统模块被嵌入实时控制系统中共用一个计算机,这样就避免了外部方式中两部分接口之间存在的某些问题,使两部分浑然一体效率更高,这是一种被看好的集成方式,ES2 和智能 FLC 就属于这一类。

从以上可以看出,整个 RTEICS 是一种混合系统(符号表示+定量表示)。属于混合型二级专家智能控制系统。要构成这个系统需要解决下面几个问题:

3.2.1 实时性

为了建造实用的人工智能钻井专家系统,需要石油工业各专业领域专家和 AI 专家(知识工程师)密切合作,编写大量的规则写入知识库,这是一项十分艰巨的知识工程。对于人工智能钻井这样的复杂问题,有可能规则的数量十分庞大,而导致逻辑推理和求解的时间及空间,对于一个实时系统来讲是不可接受的(智能钻井要求专家系统响应及求解时间的数量级为秒级以下)。现在实用的专家系统一般都为离线的非实时系统,如果要求它满足钻井实时控制系统所要求的快速响应时间,从三个方面着手进行系统优化:① 优化知识库 对于石油勘探来讲,有时判断一个层位不可能存在产油气层比判断它可能存在产油气层的把握更大一些。对于钻井来说,在实际设备条件的限制下(如钻压、泵压、转速、扭矩等都是有限的范围),有许多假设情况是不可能存在的。这样在构造知识库时就能在很大程度上筛掉无用的不存在状态,减少知识库的规则数量,而这一点对于提高实时专家系统的实时性是很重要的。② 优化程序设计语言^[3] 常用的人工智能程序设计语言 Lisp 和 Prolog 未加改造不能直接用于智能钻井实时控制系统上去。为提高程序本身的运行速度,ES1 可把 Prolog 语言优化后编译成类 C++ 语言产生的运行代码来满足实时要求。Borland 公司的 Turbo Prolog(编译型)和 Turbo C++ 系列非逻辑型语言可方便地直接连接。对于 ES2 可直接采用实时控制语言来编制程序。③ 优化控制方式 由于 ES1 是用于寻找油气层修正钻井轨迹的,并不直接和底层实时控制打交道,可采用可变间隔时间 ΔT 输出的方式来满足钻井实时控制的需要。在这段 ΔT 时间内 ES1 完全可以进行完应做的工作,而且 ΔT 也不是固定的,而是随井下当时具体情况(地下环境,地质情况,钻进状态等等)而变的。如果(IF)输入信息不变,而且(AND)系统自身参数要求不变,那么(THEN) ΔT 不变或可延长。反之则缩短 ΔT ,加大输出频率。

3.2.2 稳定性

由于智能控制本身就是一门十分年轻的学科,现在尚处于理论建立阶段,而把专家系统引入自动控制系统

中则不过刚刚几年的时间,更无公认成熟的系统稳定性判定法则(不象经典和现代自动控制理论中,不论在时域或频域中都有稳定判据)。这就要求我们在构造这类系统时做新的考虑。现在经过精心设计控制算法可以做到:万一在规定时间内 ΔT 内 ES1 没有完成一次循环,不能输出最优结果,但系统保证给出一个可行的次优结果(或简单地暂时保持上次输出结果),以保证整个 RTEICS 能正常工作。退一步讲,即使 ES1 停止工作(出现故障),在最坏的情况下 RTEICS 也能按照原始输入的井眼三维轨迹曲线打一口原设计的井,而不会产生发散现象导致系统崩溃,这说明它有很好的稳定性和容错能力。

3.2.3 可靠性

整个 RTEICS 是由传感器部分、人工智能控制计算机、自动导向执行机构、动力电源装置等子系统组成,而每一个子系统又都是由若干部分和元件构成,工作在油气井下实时钻进过程那样恶劣的环境条件下,要求整个系统能耐高压、高温、高湿、高振动、高冲击、高摩擦、高腐蚀等,能抗各种干扰,且受井眼尺寸体积所限,难度和要求某些方面比航天系统还高。这就要求每一个元件都是高标准、高可靠性的,MTBF(平均无故障时间)一般都要超过几万小时或几十万小时,同时还要求系统具有故障自诊断和自恢复功能。现在飞速发展的高新科学技术已经提供了这种能力。

3.2.4 自学习性

人工智能系统的一个重要特性就是它应具有学习能力。石油勘探开发往往是在同一个地区打若干口探井或大量生产井,有经验的钻井专家可以从这些钻井活动中总结出大量实用的经验知识,而对于人工智能钻井专家系统来讲,就要求它利用动态数据库技术和知识工程相结合产生的演绎数据库、演绎知识库来进行机器智能学习,对数据库中大量有用数据结合记忆体中的情景知识(episodic knowledge)进行整理、概括,形成新的知识,加入到专家系统的知识库中,实行渐进学习,让人工智能钻井系统每打一口井就“聪明”一点,逐步达到理想境界,即是说专家系统中的知识不是一成不变的,应该根据实际经验反复验证,增加新的证明有用的知识规则,去掉过时的、错误的、能引起混乱的不确切规则。这个过程在构造专家系统开始时可以是人工的,但发展到高级阶段就应让专家系统自学习,通过钻井实践来更新自己的知识库。特别是现在神经网络的研究和应用更为这种实现增加了可能性。

3.2.5 开发工具与软硬件平台

要开发上述复杂的实时专家智能控制系统,必须有合适建造实时功能的专家系统开发工具 EST。世界上石油工业中的 ES 约有 4/5 是用各种 EST 开发的,过去常用的有 NEXPERT OBJECT、ART、KEE、S1(M1, CM1)等等,大都运行在大、中型计算机和工作站上,随着计算机硬件(特别是 CPU 和存储器)的迅速发展,现在大多能工作在微机上,并出现了一批新的开发工具。

4 展 望

21 世纪已经来临。想象一下这时的钻井现场吧:在空旷的原野上,在茫茫的沙漠中,在浩瀚的大海里矗立着雄伟的井架,正在进行钻井作业的钻井平台上空无一人,机械手和平台机器人正在进行管具操作,司钻坐在控制室内观察着计算机荧屏上的变化,井下机器人正按着人工智能实时控制着钻进,一切都是那么平静和谐。这并不是一个幻想,随着石油工业的发展和科学技术的进步,经过我们的不懈努力,这一天一定会来到!

参 考 文 献

- [1] 傅京孙,蔡自兴,徐光祐. 人工智能及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,1988:248~274.
- [2] 李克向主编. 钻井手册(甲方)下册[M]. 北京:石油工业出版社,1990:33~136.
- [3] 林尧瑞,张铎,石纯一. 专家系统原理与实践[M]. 北京:清华大学出版社,1990:11~39.

STUDY OF THE ANNUAL MEASUREMENT FOR OIL PRODUCTION PRORATION METHOD

LI Bin, et al. (*Jidong Oil Field Corp. ,Petro-China,Tangsan 063004,China*) ACTA 2001,22(2):70~78

Abstract: Annual and monthly measurement rate is the gray original character systems influenced by multi-factor. Multinomial forecast model, assembled forecast model and GM(1, 1) forecast model of measurement rate is proposed according to the basic principle of gray theory. The established forecast model of mutation monotone or nonmonotone initial sequence adjusted by residual error amendment and period amendment several times. Fewer errors are found between the forecast and true production. The quantificational forecast model is adjusted to accord with the reality of the comprehensive application of many types of models at actual computation. The situation that forecasting measurement rate only relies on experience in the past is changed. It is a kind of scientific, practical and maneuverable method and it has been proved to be feasible by actual examples.

Key words: measurement rate; multinomial; model; residual error amendment; gray system

PETROLEUM ENGINEERING**THE RESEARCH ON THE INTELLIGENT APPLICATION SYSTEM OF A BATTLE (SEMINAR) FOR DISTANCE DRILLING BASED ON NETWORK**

WANG Kui-sheng, et al. (*Xi'an Petroleum Institute, Xi'an 710065, China*) ACTA 2001,22(2):79~82

Abstract: This paper presents an intelligent application system of building distance drilling multi-specialist cooperative guidance, which is used to implement the idea and the concept of distance drilling based on network cooperative work. This method uses the modern computer science and net communication technology. Orienting petroleum drilling and gathering geological exploration and development together, studies and develops an intelligent application system which is supported by powerful petroleum engineering database, multi-specialist, software, group cooperative work and real time instruction. This method makes it possible to change the drilling work mode, span terrain barrier, breakthrough the limitation of time and implement distance drilling based on network cooperative work. This paper mainly analyzes and discusses the each aspect of the method and technology, and draws the outline of the basic rudiment of the intelligent system.

Key words: distance drilling; computer network; data warehouse; intelligent system; computer supported cooperative work(CSCW)

REAL-TIME EXPERT CONTROL SYSTEM FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE DRILLING

WANG Yi-fa, et al. (*Petroleum University, Dongying 257061, China*) ACTA 2001,22(2):83~86

Abstract: As the development of petroleum industry and progress of science & technology, drilling technique will enter into a new phase of artificial intelligence drilling. The artificial intelligence and its two important branch—expert system and intelligence control for drilling engineering are introduced in this paper. It also raises the concept and content of artificial intelligence drilling. According to the realities of drilling engineering, it provides a new Real-Time Expert Intelligence Control System (RTEICS). In combination with the advantage of traditional expert system and intelligence control it constructs an integrated artificial intelligence drilling system. The following are involved in the paper: principle and constitution of RTEICS; interface modes of expert system and control system. Furthermore it discusses details important to be solved in the RTEICS—real-time processing, stability, reliability, self-learning ability etc. In addition, it shows the prospects of artificial intelligence drilling for the twenty-first century.

Key words: artificial intelligence; expert system; intelligence control; intelligence drilling; real-time control; automatic drilling equipment

COMPUTER SIMULATION OF DYNAMICS FOR PUMPING UNIT WITH AUXILIARY LINKAGE

LU Yi, HUANG Zhen (*Faculty of Mechanical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China*)
ACTA 2001, 22(2): 87~94

Abstract: A type of pumping unit with the auxiliary linkage and wheels is introduced in this paper for stroke increasing. In light of its mechanism, the analyses of working loads and calculation of stroke are conducted, and the formulas are derived for calculating the factors of force increasing and stroke increasing. Then, the solid models of all components in the pumping unit system are created, and an assembly system is configured. Next the computer simulations of kinematics for it are conducted in I-DEAS environment, and some curves for describing kinetic characteristics of pumping unit are obtained. From this, the working loads are created by means of simulation method, and some curves for describing the loads exerted on main joints and driving torque exerted on crank are plotted. Finally, these curves are analyzed and the reasonable counterbalance ways and the mass of counterweight are determined.

Key words: pumping unit; computer simulation; dynamics; counterbalance

A STUDY ON MODEL SIMPLIFICATION TECHNOLOGY AND CALCULATION METHOD OF WATER FLOODING PIPELINE NETWORK SYSTEM

CHANG Yu-lian, et al. (*Daqing Petroleum Institute, Anda 151400, China*) ACTA 2001, 22(2): 95~100

Abstract: An oilfield water flooding pipeline network is a large-scale fluid network system. Conventional model calculation method is time-consuming and has greatly hindered the development of simulation and optimization of an oilfield water flooding system. On the base of analysis, two methods are given in this paper. One is the model simplification technology which reduces identity matrix K dimension considerably, and the other is the improved iteration method which reduces the amount of calculating work from n^2 to n . A calculating software about a large-scale oilfield pipeling network is created by the use of the two methods. The result indicates that on the premise that the calculating accuracy is met, the model calculating speed is enhanced extremely. The technology has been applied to oilfield flooding system and received high ratings.

Key words: oilfield; water flooding; pipeline network; modelling; disposal; calculation method; iteration

A MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE ECONOMICAL EQUIPMENT CAPACITY OF THERMAL RECOVERY SYSTEMS

JIANG Hui-juan, et al. (*Southeast University, Nanjing 210096, China*) ACTA 2001, 22(2): 101~104

Abstract: It is well known that the design of equipment capacities has significant influences on the equipment investment and furthermore on the economy of the thermal recovery process of heavy oil because the oil production depends greatly on time. In this paper a new mathematical model for determining the economical equipment capacity of the heavy oil thermal recovery system is proposed. First of all, the variation of the production data was investigated with statistics based on the recorded production data. It was found that the equipment capacity gap, namely the difference between the averaged liquid production of the thermal recovery system and the corresponding equipment capacity, dominantly affects the economy of the production process.